

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

533322

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
17. März 2005 (17.03.2005)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2005/023116 A1

- (51) Internationale Patentklassifikation⁷: A61B 6/10, G21F 3/03, 1/12
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2004/009860
- (22) Internationales Anmeldedatum:
3. September 2004 (03.09.2004)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:
103 40 639.5 3. September 2003 (03.09.2003) DE
10 2004 001 328.4 8. Januar 2004 (08.01.2004) DE
- (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): MAVIG GMBH [DE/DE]; Stahlgruberring 5, 81829 München (DE).
- (72) Erfinder; und
- (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): EDER, Heinrich [DE/DE]; Am Stadtpark 43, 81243 München (DE).
- (74) Anwälte: KÖRFER, Thomas usw.; Mitscherlich & Partner, Sonnenstrasse 33, Postfach 33 06 09, 80066 München (DE).
- (81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.
- (84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).
- Veröffentlicht:
— mit internationalem Recherchenbericht
- Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

(54) Title: LIGHT RADIATION PROTECTION MATERIAL FOR A LARGE ENERGY APPLICATION FIELD

(54) Bezeichnung: LEICHTES STRAHLENSCHUTZMATERIAL FÜR EINEN GROSSEN ENERGIEANWENDUNGSBE-
REICH

(57) Abstract: The invention relates to a lead substitute for radiation protection purposes, said lead substitute containing between 12 and 22 wt. % of matrix material, between 0 and 75 wt. % of Sn or Sn compounds, between 0 and 73 wt. % of W or W compounds, and between 0 and 80 wt. % of Bi or Bi compounds, a maximum of one of the compounds amounting to 0 wt. %, for nominal total lead equivalents of between 0.25 and 2 mm. The invention further relates to a lead substitute that also contains at least one of the elements Er, Ho, Dy, Tb, Gd, Eu, Sm, La, Ce, Nd, Cs, Ba, I Ta, Hf, Lu, Yb, Tm, Th, U and/or the compounds thereof and/or CsI.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Blei-Ersatzmaterial für Strahlenschutz Zwecke, wobei das Blei-Ersatzmaterial 12-22 Gew. -% Matrixmaterial, 0-75 Gew. -% Sn oder Sn-Verbindungen, 0-73 Gew. -% W oder W-Verbindungen, 0-80 Gew. -% Bi oder Bi-Verbindungen umfasst und wobei höchstens einer der Bestandteile 0 Gew. -% beträgt, für Nenn-Gesamtleigleichwerte von 0,25-2,00 mm. Ferner betrifft die Erfindung ein Blei-Ersatzmaterial, das zusätzlich eines oder mehrere der Elemente Er, Ho, Dy, Tb, Gd, Eu, Sm, La, Ce, Nd, Cs, Ba, I Ta, Hf, Lu, Yb, Tm, Th, U und/oder ihrer Verbindungen und/oder CsI umfasst.

WO 2005/023116 A1

**Leichtes Strahlenschutzmaterial für einen großen
Energieanwendungsbereich**

5

Die Erfindung betrifft ein Blei-Ersatzmaterial für Strahlenschutz Zwecke im Energiebereich einer Röntgenröhre mit einer Spannung von 60-140 kV.

10 Herkömmliche Strahlenschutzkleidung zur Anwendung in der Röntgendiagnostik enthält meist Blei oder Bleioxid als Schutzmaterial.

15 Eine Substitution dieses Schutzmaterials gegen andere Materialien ist insbesondere aus folgenden Gründen wünschenswert:

20 Zum einen führt Blei und seine Verarbeitung aufgrund seiner Toxizität zu einer hohen Umweltbelastung, zum anderen führt Blei aufgrund seines sehr hohen Gewichts notwendigerweise zu einem sehr hohen Gewicht der Schutzkleidung und damit zu einer starken physischen Belastung des Anwenders. Beim Tragen von Schutzkleidung, beispielsweise bei medizinischen Operationen, ist das
25 Gewicht für den Tragekomfort und die physische Belastung des Arztes und des Assistenzpersonals von großer Bedeutung.

30 Deshalb wird seit Jahren nach einem Ersatzmaterial für Blei beim Strahlenschutz gesucht. Dabei wird vorwiegend der Einsatz von chemischen Elementen oder deren Verbindungen mit der Ordnungszahl von 50 bis 76 vorgeschlagen.

35 Die DE 199 55 192 A1 beschreibt ein Verfahren zur Herstellung eines Strahlungsschutzmaterials aus einem Polymer als Matrixmaterial und dem Pulver eines Metalls hoher Ordnungszahl.

Die DE 201 00 267 U1 beschreibt ein hochelastisches, leichtes, flexibles, gummiartiges Strahlenschutzmaterial, wobei Zusätze von chemischen Elementen und deren Oxide mit einer Ordnungszahl größer gleich 50 zu einem speziellen Polymer gegeben werden.

Zur Gewichtsreduzierung gegenüber herkömmlichen Bleischürzen wird in der EP 0 371 699 A1 ein Material vorgeschlagen, das ebenfalls neben einem Polymer als Matrix Elemente höherer Ordnungszahl aufweist. Dabei wird eine große Anzahl von Metallen genannt.

Die DE 102 34 159.1 beschreibt ein Blei-Ersatzmaterial für Strahlenschutz Zwecke im Energiebereich einer Röntgenröhre mit einer Spannung von 60-125 kV.

Je nach eingesetzten Elementen zeigt der Schwächungsgrad bzw. der Bleigleichwert (International Standard IEC 61331-1, Protective devices against diagnostic medical X-radiation) des jeweiligen Materials eine teilweise sehr ausgeprägte Abhängigkeit von der Strahlenenergie, die eine Funktion der Spannung der Röntgenröhre ist.

Bleifreie Materialien haben gegenüber Blei ein zum Teil stark abweichendes Absorptionsverhalten in Abhängigkeit von der Röntgenenergie. Deshalb ist für die Nachbildung des Absorptionsverhaltens von Blei bei gleichzeitiger Maximierung der Gewichtseinsparung eine vorteilhafte Kombination unterschiedlicher Elemente erforderlich.

So besitzen die bekannten Strahlenschutzkleidungen aus bleifreiem Material gegenüber Blei einen mehr oder minder starken Abfall der Absorption unterhalb von 70 kV und über 110 kV, insbesondere über 125 kV. Das heißt, zur Erzielung der gleichen Abschirmwirkung, wie bei bleihaltigem Material ist für diesen Bereich der Röhrenspannung ein höheres Flächengewicht der Schutzkleidung erforderlich.

Deshalb ist der Anwendungsbereich von handelsüblicher bleifreier Strahlenschutzleidung in der Regel eingeschränkt.

- 5 Um Blei für Strahlenschutz Zwecke substituieren zu können, ist ein in Bezug auf Blei möglichst gleichartiges Absorptionsverhalten über einen größeren Energiebereich erforderlich, da Strahlenschutzstoffe üblicherweise nach dem Bleigleichwert eingestuft werden und die
10 Strahlenschutzberechnungen häufig auf Bleigleichwerten basieren.

Unter Gesamtbleigleichwert bei einem schutzschichtenförmigen Aufbau eines Blei-Ersatzmaterials
15 versteht man den Bleigleichwert der Summe aller Schutzschichten. Unter Gesamt-Nennbleigleichwert wird der nach DIN EN 61331-3 vom Hersteller für persönliche Schutzausrüstung anzugebende Bleigleichwert verstanden.

- 20 Unter Matrixmaterial versteht man die Trägerschicht für die Schutzmaterialien, die beispielsweise aus Gummi, Latex, flexiblen oder festen Polymeren bestehen kann.

Bei bestimmten Röntgenanwendungen, wie der
25 Computertomographie und bei Knochendichtemessungen, aber auch bei Gepäckprüfungsgeräten, treten Röntgenspannungen von bis zu 140 kV auf.

- Die Aufgabe vorliegender Erfindung besteht darin, Blei als
30 Strahlenschutzmaterial hinsichtlich seiner Abschirmeigenschaften über einen weiten Energiebereich einer Röntgenröhre, also über einen großen Energiebereich zu ersetzen und dabei gleichzeitig eine möglichst große Gewichtsreduzierung zu erreichen. Dabei sollen
35 ausschließlich gegenüber Blei umweltfreundliche Materialien zum Einsatz kommen.

Die Aufgabe der Erfindung wird durch ein Blei-Ersatzmaterial für Strahlenschutz Zwecke im Energiebereich

einer Röntgenröhre mit einer Spannung von 60-140 kV gelöst, wobei das Blei-Ersatzmaterial 12-22 Gew.-% Matrixmaterial, 0-75 Gew.-% Zinn oder Zinnverbindungen, 0-73 Gew.-% Wolfram oder Wolframverbindungen, 0-80 Gew.-%
5 Wismut oder Wismutverbindungen umfasst und wobei höchstens einer der Bestandteile 0 Gew.-% beträgt. Die Mischung erfasst Nenn-Gesamtbleigleichwerte von 0,25-2,0 mm.

10 Zur Lösung der Aufgabe war es deshalb erforderlich, eine Materialauswahl und deren Mengenauswahl aufzufinden, die die Röntgenstrahlung auch im hohen Energiebereich gut wirksam abschirmen kann.

15 In überraschender Weise wurde gefunden, dass sich die Absorptionswirkung bei hohen Energien durch hohe Anteile von Wolfram und/oder Wismut in dem Blei-Ersatzmaterial wesentlich verbessert.

20 In einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist das Blei-Ersatzmaterial dadurch gekennzeichnet, dass es 12-22 Gew.-% Matrixmaterial, 0-39 Gew.-% Sn oder Sn-Verbindungen, 0-60 Gew.-% W oder W-Verbindungen und 0-60 Gew.-% Bi oder Bi-Verbindungen umfasst und wobei höchstens einer der Bestandteile 0 Gew.-% beträgt.

25 In einer besonders bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist das Blei-Ersatzmaterial dadurch gekennzeichnet, dass es 12-22 Gew.-% Matrixmaterial, 0-39 Gew.-% Sn oder Sn-Verbindungen, 16-60 Gew.-% W oder W-
30 Verbindungen und 16-60 Gew.-% Bi oder Bi-Verbindungen umfasst.

35 In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist das Blei-Ersatzmaterial dadurch gekennzeichnet, dass es 12-22 Gew.-% Matrixmaterial, 40-60 Gew.-% Sn oder Sn-Verbindungen, 7-15 Gew.-% W oder W-Verbindungen und 7-15 Gew.-% Bi oder Bi-Verbindungen umfasst.

In einer weiteren besonders bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist das Blei-Ersatzmaterial dadurch gekennzeichnet, dass es zusätzlich bis 40 Gew.-% eines oder mehrerer der folgenden Elemente Er, Ho, Dy, Tb, Gd, Eu, Sm, La, Ce, Nd, Cs, Ba, I und/oder ihrer Verbindungen und/oder CsI umfasst.

In folgender Tabelle 1 sind die Massen-Schwächungskoeffizienten von Bleifrei-Schutzstoffen außerhalb der Absorptionskanten bei verschiedenen Photonenenergien dargestellt. Die bei der jeweiligen Energie vorteilhaft einzusetzenden Elemente sind unterstrichen.

Tabelle 1

Energie (keV)	Sn	Gd	Er	W	Bi
40	<u>19,42</u>	6,92	8,31	10,67	<u>14,95</u>
50	<u>10,70</u>	3,86	4,63	5,94	<u>8,38</u>
60	6,56	<u>11,75</u>	<u>13,62</u>	3,71	5,23
80	3,03	5,57	<u>6,48</u>	<u>7,81</u>	2,52
100	1,67	3,11	3,63	<u>4,43</u>	<u>5,74</u>
150	0,61	1,10	1,28	<u>1,58</u>	<u>2,08</u>

Durch das Blei-Ersatzmaterial, das zusätzlich eines oder mehrere Elemente Er, Ho, Dy, Tb, Gd, Eu, Sm, La, Ce, Nd, Cs, Ba, I und/oder ihrer Verbindungen und/oder CsI umfasst, wird eine besonders starke Zunahme der Absorptionswirkung erreicht. Auf diese Weise kann das Gewicht der Schutzkleidung wesentlich gesenkt werden.

Zur Erzielung der beschriebenen Eigenschaften können nach der Tabelle 1 die einzelnen Elemente so zusammengestellt werden, dass ein bestimmter Energiebereich abgedeckt wird oder dass sich ein möglichst gleichmäßiger Verlauf der Schwächung über einen größeren Energiebereich ergibt.

In überraschender Weise wurde festgestellt, dass bei Einsatz der oben genannten zusätzlichen Elemente von deren Verbindungen bei dem Blei-Ersatzmaterial ein überproportionaler Anstieg der Schutzwirkung auftritt, vorzugsweise, wenn ihr Gewichtsanteil an dem Blei-Ersatzmaterial zwischen 20% und 40% beträgt.

In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist das Blei-Ersatzmaterial dadurch gekennzeichnet, dass es zusätzlich bis 40 Gew.-% eines oder mehrerer der folgenden Elemente Ta, Hf, Lu, Yb, Tm, Th, U und/oder ihrer Verbindungen umfasst.

Bei den zusätzlich im Blei-Ersatzmaterial einsetzbaren Metallen Er, Ho, Dy, Tb, Gd, Eu, Sm, La, Ce, Nd, Ba, I, Ta, Hf, Lu, Yb, Tm, Th, U können auch Metalle und/oder ihre Verbindungen und/oder CsI mit einem relativ geringen Reinheitsgrad eingesetzt werden, wie sie als Abfallprodukte anfallen.

In DIN EN 61331-3 ist eine Abweichung vom Nenn-Bleigleichwert nach unten nicht zugelassen. Lediglich die deutsche Fassung der Norm lässt eine Ausnahme zu, nämlich eine Abweichung von 10% vom Nenn-Bleigleichwert. Aus diesen Gründen ist ein möglichst flacher Verlauf des Bleigleichwerts über die Energie bei einem Blei-Ersatzmaterial anzustreben.

Ein Absinken des Bleigleichwerts unter den Nenn-Bleigleichwert bzw. unter die untere Toleranzgrenze bedeutet, dass das Strahlenschutzmaterial bei den betreffenden Röhrenspannungen nicht genutzt werden kann, da die abschirmende Wirkung zu gering ist. In diesem Fall muss alternativ das Flächengewicht des Blei-Ersatzmaterials soweit erhöht werden, dass die zulässigen Toleranzen der DIN EN 61331-3 erfüllt werden. Eine Erhöhung des Flächengewichts wird jedoch als nachteilig angesehen.

Eine weitere Möglichkeit besteht in der Beschränkung des Anwendungsbereichs im Hinblick auf die Energie bzw. die Röhrenspannung.

- 5 Es war von daher ein weiteres Ziel vorliegender Erfindung, Elemente oder deren Verbindungen dergestalt auszuwählen, dass ein möglichst geringer Abfall des Bleigleichwerts im gewünschten Energienutzungsbereich erfolgt, unter Berücksichtigung der Zugänglichkeit der jeweiligen
- 10 Elementen bzw. ihrer Verbindungen.

Die relative Wirksamkeit N_{rel} als Zunahme des Bleigleichwerts (PbGW) bezogen auf eine normierte Massenbelegung von $0,1 \text{ kg/m}^2$ wurde bei einer Reihe von

15 Materialien in Versuchsreihen ermittelt und in unten stehender Tabelle 2 zusammengefasst. Sie gibt die Schwächungseigenschaften der einzelnen Elemente noch deutlicher wieder als die oben beschriebenen Massen-

20 unmittelbaren Bereich der jeweiligen Absorptionskanten mit einfließt.

Tabelle 2

Material	N_{rel} Mittlerer Zuwachs bezogen auf $0,1 \text{ kg/m}^2$ (rel. Pb)				Anstieg PbGW von 60 auf 80 kV bezogen auf $0,1$ kg/m^2	Gruppe
	60-90 kV	60-125 kV	100- 125 kV	125- 150 kV		
Sn	1,64	1,30	0,96	0,80	-0,005	A
Bi	1,41	1,27	1,13	1,17	-0,005	A
W	0,91	1,07	1,25	1,07	+ -0,000	A
Gd	1,85	2,05	2,27	1,56	+0,007	B
Er	1,20	1,45	1,70	1,36	+0,009	B

In überraschender Weise zeigt sich hierbei, dass die Elemente oder deren Verbindungen wie folgt klassifiziert werden können:

- 5 Gruppe A: Materialien mit relativ geringer Wirksamkeit mit Werten von $N_{\text{rel}} < 1,2$ - 1-6 mm PbGW pro 0,1 kg/m² und einem geringen bzw. negativen Anstieg von 60-80 kV. Zu diesen Elementen oder ihren Verbindungen zählen Sn, Bi und W.

10

- Gruppe B: Materialien mit relativ hoher Wirksamkeit mit $N_{\text{rel}} \geq 1,3$ mm PbGW pro 0,1 kg/m² und einem hohen Anstieg von 60-80 kV.

- 15 In einer besonders bevorzugten Ausführungsform der Erfindung wird daher der Energiebereich 60-140 kV entsprechend den häufigsten Anwendungen der Röntgenstrahlung in mehrere, zum Teil überlappende, Bereiche aufgeteilt:

20

1. Energiebereich 60-90 kV

- In diesem Energiebereich finden überwiegend
25 zahnmedizinische Anwendungen der Einzelaufnahmetechnik und der Panorama-Schichttechnik statt.

2. Energiebereich 60-125 kV

- In diesem Energiebereich liegen die häufigsten
30 Röntgenuntersuchungen und Röntgeninterventionen, wie Angiografie, Computer-Tomografie, Herzkatheter-Untersuchungen, interventionelle Radiologie, Thorax-Hartstrahltechnik.

- 35 3. Energiebereich 100-125 kV

In diesen Energiebereich fallen die meisten Computer-Tomografen.

4. Energiebereich 125-150 kV

Das ist ein Energiebereich für spezielle Anwendungen, wie spezielle Computer-Tomografen, Knochendichte-Messungen, 5 Spezial-Thorax-Hartstrahltechnik und nuklearmedizinische Diagnostik.

Bleifreie Schutzkleidung, die nur in einem bestimmten Energiebereich Verwendung finden kann, ist vom Hersteller 10 entsprechend zu kennzeichnen.

In einer Ausführungsform des Blei-Ersatzmaterials für Strahlenschutz zwecke im Energiebereich einer Röntgenröhre mit einer Spannung von 60-90 kV ist das Blei- 15 Ersatzmaterial für Nenn-Gesamtbleigleichwerte von 0,25-0,6 mm dadurch gekennzeichnet, dass es 12-22 Gew.-% Matrixmaterial, 49-65 Gew.-% Sn oder Sn-Verbindungen, 0-20 Gew.-% W oder W-Verbindungen, 0-20 Gew.-% Bi oder Bi-Verbindungen und 2-35 Gew.-% eines oder mehrerer der 20 Elemente Gd, Eu, Sm, La, Ce, Nd, Cs, Ba, I, Pr und/oder ihrer Verbindungen und/oder CsI umfasst. Der Energiebereich ist vorzugsweise der einer Röntgenröhre eines Dental-Röntgengeräts.

25 In einer besonderen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung umfasst das Blei-Ersatzmaterial 2-25 Gew.-% I, Cs, Ba, La, Ce, Pr und/oder Nd und/oder ihre Verbindungen und/oder CsI.

30 Bei dem relativ schmalen Energiebereich zeigte sich aus Tabelle 2, dass von den Gruppe A Elementen Sn am wirksamsten ist. Aus der Gruppe B ist Gd bevorzugt, wobei jedoch CsI ebenfalls zu einem Blei-Ersatzmaterial mit sehr guten Eigenschaften führte.

35

Energiebereich 60-125 kV (allgemeiner Röntgenbereich):

Aus der Tabelle 2 können beispielsweise Elemente mit geringem und hohem Anstieg des Bleigleichwerts in

vorteilhafter Weise in der Weise ausgewählt werden, dass die Verläufe des Bleigleichwerts über den gesamten Bereich möglichst flach bleiben. Eine gewisse Überhöhung bei 80 und 100 kV ist dabei physikalisch nicht zu umgehen.

5

Es können daher ein oder mehrere Elemente oder deren Verbindungen der Gruppe A mit einem oder mehreren Elementen oder deren Verbindungen der Gruppe B in optimaler Weise kombiniert werden, wobei die Auswahl nach der Effizienz der Abschirmung, nach der Zugänglichkeit des jeweiligen Elements oder dessen Verbindung und nach einem möglichst konstanten Verlauf des Bleigleichwerts erfolgt.

Hierbei ist eine Abhängigkeit des Anteils der A-Elemente oder ihrer Verbindungen von denjenigen der B-Elemente oder ihrer Verbindungen gegeben. So muss bei einer Erhöhung des Anteils eines B-Elements auch der relative Gewichtsanteil eines A-Elements mit entgegengesetztem Energieverhalten deutlich erhöht werden, um den Verlauf des Bleigleichwerts über die Energie möglichst flach zu halten.

Beispielsweise sollte bei einem Anteil von über 20 Gew.-% an B-Elementen oder deren Verbindungen der Anteil an Sn oder Bi über 40 Gew.-% steigen, um eine geringe Energieabhängigkeit sicherzustellen.

Energiebereich 100-140 kV:

Das ist der Energiebereich für die meisten neueren Computer-Tomografen.

In einer besonders bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist das Blei-Ersatzmaterial für Strahlenschutz Zwecke im Energiebereich einer Röntgenröhre mit einer Spannung von 100-140 kV dadurch gekennzeichnet, dass das Blei-Ersatzmaterial für Nenn-Gesamtbleigleichwerte von 0,2 5-0,6 mm 12-22 Gew.-% Matrixmaterial, 40-73 Gew.-% Bi und/oder W oder ihre Verbindungen und 5-38 Gew.-% eines oder mehrere der

folgenden Elemente Gd, Eu, Er, Hf und/oder ihrer Verbindungen umfasst.

5 Hoche Schutzwirkungen bzw. geringe Flächengewichte können durch Einsatz der Elemente oder ihrer Verbindungen erzielt werden, die speziell in diesem kleinen Energiebereich ihre höchste Abschirmwirkung entfalten. Aus Gründen der Zugänglichkeit sollte ein größerer Anteil aus den Elementen oder ihren Verbindungen der Gruppe A mit einem
10 kleineren Anteil der Elemente oder ihrer Verbindungen der Gruppe B kombiniert werden, wobei in diesem Fall ein flacher Energiegang des Bleigleichwertes wegen des relativ kleinen Energiefensters hier nicht so wesentlich ist.

15 Energiebereich 125-150 kV:

Dieser Bereich betrifft Sonderanwendungen in der Radiologie und Nuklearmedizin. Das Flächengewicht der Strahlenschutzschürze steht in diesem Bereich nicht im
20 Vordergrund der Optimierung, da die Schutzkleidung in der Regel hier nur für kurze Zeit getragen wird oder ortsfeste Strahlenschutzschirme Verwendung finden.

Die Auswahl der Elemente oder ihrer Verbindungen geschieht
25 nach den oben genannten Kriterien. Sehr gute Ergebnisse liefern Gd und Er in Kombination mit Bi. Die Wirkung von W ist in diesem Bereich zu gering.

Zusammenfassend lässt sich also feststellen, dass die
30 Zusammensetzung von Schutzstoffen für einzelne Energiebereiche entsprechend den am häufigsten vorkommenden Röntgenanwendungen zweckmäßigerweise durch Aufspaltung optimiert werden kann.

35 In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Erfindung weist das Blei-Ersatzmaterial einen Aufbau aus mindestens zwei getrennten oder miteinander verbundenen Schutzschichten unterschiedlicher Zusammensetzung auf, wobei mindestens bei einer Schicht mindestens 50% des

Gesamtgewichts nur aus einem Element aus der Gruppe Sn, W und Bi oder deren Verbindungen besteht.

Insbesondere weist das Blei-Ersatzmaterial einen Aufbau aus mindestens zwei getrennten oder miteinander verbundenen Schutzschichten unterschiedlicher Zusammensetzung auf, wobei mindestens bei einer Schicht mindestens 50% des Gesamtgewichts nur aus mindestens 40 Gew.-% Sn oder dessen Verbindungen und mindestens 10 Gew.-% I, Cs, Ba, La, Ce, Pr und/oder Nd und/oder ihren Verbindungen und/oder CsI besteht. Besonders vorteilhaft ist eine Schicht, die 40 bis 50 Gew.-% Sn und 10 bis 20 Gew.-% Cer umfasst.

In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist das Blei-Ersatzmaterial dadurch gekennzeichnet, dass es einen Aufbau aus mindestens zwei getrennten oder miteinander verbundenen Schutzschichten unterschiedlicher Zusammensetzung umfasst, wobei (die) vom Körper entferntere Schutzschicht(en) überwiegend die Elemente oder deren Verbindungen mit höherer Röntgen-Fluoreszenzausbeute und die körpernahe(n) Schutzschicht(en) die Elemente oder deren Verbindungen mit geringerer Röntgen-Fluoreszenzausbeute umfassen.

Bei der Bestrahlung von Materialien mit Röntgenstrahlung wird charakteristische Röntgenstrahlung als Fluoreszenzstrahlung angeregt. Die Fluoreszenzausbeute hängt von der Ordnungszahl ab. Dieser Fluoreszenzanteil führt zu einer zusätzlichen Strahlenexposition der Haut und der unmittelbar darunter liegenden Organe. Aus Messungen an Schutzkleidung wurde ermittelt, dass insbesondere Elemente mit kleineren Ordnungszahlen, im vorliegenden Fall also insbesondere Sn, besonders stark fluoreszieren. Bei einem geschichteten Aufbau des Strahlenschutzmaterials kann in vorteilhafter Weise eine Schichtung nach Elementen so erfolgen, dass die Elemente mit geringster Fluoreszenzausbeute auf der Hautseite liegen.

Der Fluoreszenzanteil, auch als build-up-Faktor bezeichnet, ist von marktüblichen bleifreien Schutzmaterialien (Material B) in der folgenden Tabelle 3 im Vergleich zu einem nach dem hier beschriebenen Prinzip schichtweise aufgebauten Material (Material A) dargestellt. Wie ersichtlich, kann der build-up-Faktor Werte bis 1,42 erreichen. D.h., die Haut wird in diesem Fall durch den Fluoreszenzanteil um 42% mehr belastet.

10

Tabelle 3

kV	Material A	Material B
80	1,15	1,42
90	1,14	1,35
100	1,14	1,32
110	1,16	1,36

In einer weiteren besonders bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist das Blei-Ersatzmaterial dadurch gekennzeichnet, dass es einen Aufbau aus Schutzschichten unterschiedlicher Zusammensetzung aufweist.

Das Blei-Ersatzmaterial kann einen Aufbau aus mindestens zwei getrennten oder miteinander verbundenen Schutzschichten unterschiedlicher Zusammensetzung umfassen, wobei die vom Körper entferntere(n) Schutzschicht(en) überwiegend die Elemente niedrigerer Ordnungszahl oder deren Verbindungen und die körpernahe(n) Schutzschicht(en) überwiegend die Elemente höherer Ordnungszahl oder deren Verbindungen umfassen.

Das Blei-Ersatzmaterial kann auch einen Aufbau aus mindestens drei getrennten oder miteinander verbundenen Schutzschichten unterschiedlicher Zusammensetzung aufweisen, wobei die vom Körper entferntere(n) Schutzschicht(en) und die körpernahe(n) Schutzschicht(en) überwiegend die Elemente höherer Ordnungszahlen oder derer Verbindungen umfassen und in der Mitte mindestens eine

Schutzschutz mit überwiegend Elementen niedriger Ordnungszahlen angeordnet ist.

Somit befindet sich beispielsweise außen beiderseits eine
5 Sperrschicht aus einem Material höherer Ordnungszahlen,
wie beispielsweise Bismut oder Wolfram. Dazwischen liegt
eine Schicht oder es liegen Schichten aus einem Material
mit niedrigerer Ordnungszahl. Die dort entstehende
Fluoreszenzstrahlung wird also nach beiden Seiten hin
10 wirksam abgeschirmt und kann nicht nach außen dringen.

Alternativ dazu kann auch ein Schichtaufbau aus mindestens
einer hochkonzentrischen, verdichtenden Pulverschicht aus
einer Mischung der obengenannten Schutzstoffe und
15 mindestens zwei Trägerschichten beidseitig der
Pulverschicht vorgesehen werden. Die Pulverschicht enthält
möglichst wenig Matrixmaterial. Die Trägerschichten können
aus Matrixmaterial zusammengesetzt sein. Geeignete
Materialien sind beispielsweise Polymere, wie Latex oder
20 Elastomere. Die Trägerschichten erhöhen die mechanische
Stabilität, während die konzentrierte Füllung die
strahlenabschirmende Wirkung verbessert. Figur 4 zeigt
diesen Schichtaufbau mit einer hochverdichteten
Schutzstoffschicht 2 als Kern und den außenliegenden
25 Trägerschichten 1.

Das Blei-Ersatzmaterial kann auch dadurch gekennzeichnet
sein, dass eine schwach radioaktive Schicht zwischen zwei
getrennten oder mit der radioaktiven Schicht verbundenen
30 nichtradioaktiven Schutzschichten eingebettet ist.

Es können als Elemente oder deren Verbindungen der Gruppe
B zur Abschirmung von Strahlung hoher Energie auch die
Actinoiden Thorium oder Uran, letzteres z. B. als
35 abgereichertes Uran, eingesetzt werden. Sie besitzen eine
hohe Abschirmwirkung im Energiebereich 125-150 kV, sind
jedoch selbst schwach radioaktiv.

Der Effekt der Eigenstrahlung kann dadurch abgeschwächt werden, dass die radioaktive Schicht zwischen zwei nicht aktive Schichten aus Bi eingebettet ist. Der Anteil der Eigenexposition durch Thorium oder Uran sollte in den
5 meisten Fällen gering und damit zu vernachlässigen sein. Es hat hier eine Vorteilsabwägung stattzufinden, die die Vorteile, die durch die Eliminierung von Blei und durch die höhere Schutzwirkung entstehen, der geringen Eigenexposition gegenüberzustellen sind.

10

In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist das Blei-Ersatzmaterial dadurch gekennzeichnet, dass die Metalle oder Metallverbindungen gekörnt sind und deren Korngrößen eine 50er Perzentile
15 nach folgender Formel

$$D_{50} = \frac{d \cdot p}{10} \text{ mm}$$

aufweisen, worin D_{50} die 50er-Perzentile der
20 Korngrößenverteilung, d die Schichtdicke in mm und p den Gewichtsanteil der jeweiligen Materialkomponente am Gesamtgewicht bedeuten und die 90er Perzentile der Korngrößenverteilung $D_{90} \leq 2 \cdot D_{50}$ ist.

25 Bei den Messungen der Bleigleichwerte an Schutzschichten, die aus Metallpulvern oder Pulvern von Metallverbindungen bestehen, stellte sich in überraschender Weise heraus, dass die Strahlendurchlässigkeit der aus gekörnten Substanzen bestehenden Schicht im Vergleich zu einer
30 Folienschicht bei gleicher Massenbelegung höher ist. Dies betrifft hauptsächlich den unteren Energiebereich von 60-80 kV. Bei höheren Energien werden die lokalen Durchlässigkeitsunterschiede, d.h. der Röntgenkontrast, zunehmend geringer.

35

Beispielsweise ergibt sich bei einem Sn-Anteil von 30% = 0,3 und einer Schichtdicke von 0,4 mm

$$D_{50} = 0,4mm \cdot 0,3 = 0,012mm = 12\mu m .$$

Die 90er Perzentile der Korngrößenverteilung sollte darüber hinaus nicht größer als $2 \cdot D_{50} = 24\mu m$ sein.

5

Materialien mit geringem Gewichtsanteil müssen daher auch eine geringe Korngröße besitzen, d.h. sehr fein verteilt sein, um eine optimale Schutzwirkung zu entfalten.

- 10 Bei Ausnutzung dieses Effekts kann das Gewicht einer Strahlenschutzschürze noch weiter reduziert werden.

- Das erfindungsgemäße Material kann beispielsweise bei Schutzhandschuhen, Patientenabdeckungen, Gonadenschutz, 15 Ovarienschutz, Dentalschutzschilder, ortsfestem Unterkörperschutz, Tischaufsätzen, ortsfesten oder ortsbeweglichen Strahlenschutzwänden oder Strahlenschutzvorhängen vorteilhaft angewandt werden.

- 20 Im Folgenden soll die Erfindung anhand von Beispielen näher erläutert werden.

Beispiel 1

- 25 Die Fig. 1 zeigt das erfindungsgemäße Blei-Ersatzmaterial mit 22 Gew.-% Zinn, 27 Gew.-% Wolfram, 4 Gew.-% Erbium und 15 Gew.-% Matrixmaterial. Dieses Blei-Ersatzmaterial ist in der Fig. 1 mit 2 bezeichnet. Mit 1 ist ein marktübliches Material der Zusammensetzung 65 Gew.-% 30 Antimon, 20 Gew.-% Wolfram und 15 Gew.-% Matrixmaterial bezeichnet.

- Die Fig. 1 zeigt einen Gewichtsvergleich von Blei-Ersatzmaterialien bei einem Nenn-Bleigleichwert von 0,5 35 mm.

Aus der Fig. 1 ist ersichtlich, dass das zum Erreichen eines Nenn-Bleigleichwerts von 0,5mm erforderliche Flächengewicht zwischen 100 und 140 kV bei dem

erfindungsgemäßen Material nur um etwa 7% zunimmt, während die Zunahme bei dem Vergleichsmaterial erheblich größer ist.

5 Beispiel 2

Die Fig. 2 zeigt das erfindungsgemäße Blei-Ersatzmaterial mit 20 Gew.-% Zinn, 36 Gew.-% Wolfram, 29 Gew.-% Wismut und 15 Gew.-% Matrixmaterial. Dieses Blei-Ersatzmaterial ist in der Fig. 2 mit 2 bezeichnet. Mit 1 ist ein marktübliches Material der Zusammensetzung 70 Gew.-% Zinn, 10 Gew.-% Barium und 20 Gew.-% Matrixmaterial bezeichnet.

Die Fig. 2 zeigt einen Gewichtsvergleich von Blei-Ersatzmaterialien bei einem Nenn-Bleigleichwert von 0,5 mm.

Aus der Fig. 2 ist ersichtlich, dass das zum Erreichen eines Nenn-Bleigleichwerts von 0,5 mm erforderliche Flächengewicht zwischen 100 und 140 kV bei einem erfindungsgemäßen Material nur um etwa 9% zunimmt, während die Zunahme bei dem Vergleichsmaterial ca. 60% beträgt.

Beispiel 3

25

Bleifreie, leichte Strahlenschutzschürze für den Dentalbereich von 60-90 kV Pb-Nennbleigleichwert 0,5 mm.

Es wurde eine bleifreie Strahlenschutzschürze aus 59 Gew.-% Sn, 24 Gew.-% Gd, 1 Gew.-% W und 16 Gew.-% Matrixmaterial hergestellt.

Die Strahlenschutzwirkung entsprach derjenigen einer entsprechenden Bleischürze bei einem um etwa 35% verminderten Flächengewicht von nur 4,4 kg/m².

Beispiel 4

Bleifreie leichte Strahlenschutzschürze für den Anwendungsbereich 60-125 kV.

Es wurde eine Strahlenschutzschürze aus 50 Gew.-% Sn, 11
5 Gew.-% W, 23 Gew.-% Gd und 16 Gew.-% Matrixmaterial hergestellt.

Hierbei ergaben sich für einen Nenn-Bleigleichwert von 0,5
mm Blei ein Flächengewicht von 4,5 kg/m², für einen Nenn-
10 Bleigleichwert von 0,35 mm Blei ein Flächengewicht von 3,3
kg/m² und ein Nenn-Bleigleichwert von 0,25 mm Blei ein
Flächengewicht von 2,4 kg/m².

15 Beispiel 5

Bleifreie leichte Strahlenschutzschürze für den Anwendungsbereich 60-125 kV.

20 Es wurde eine Strahlenschutzschürze aus 40 Gew.-% Bi, 20
Gew.-% Sn, 24 Gew.-% Gd und 16 Gew.-% Matrixmaterial
hergestellt.

Hierbei ergab sich für einen Nenn-Bleigleichwert von 0,5
25 mm Blei ein Flächengewicht von 5,0 kg/m².

Bleifreie handelsübliche Strahlenschutzschürzen weisen bei
Nenn-Bleigleichwerten von 0,50 mm Flächengewichte von 5,4
bis 6,1 kg/m² auf. Herkömmliches Blei-Gummi-Material
30 besitzt ein Flächengewicht von 6,75 kg/m².

Damit wird der wesentliche Vorteil vorliegender Erfindung
deutlich, wonach die Schutzkleidung erheblich leichter
werden kann. Dies ist insbesondere bei mehrstündiger
35 Anwendung der Schutzkleidung ein ganz wesentlicher
Vorteil.

Arbeitet der Anwender bei Röhrenspannungen von 80-100 kV
ist zudem der Bleigleichwert um ca. 20% über dem Nennwert

von 0,5 mm Pb einer entsprechenden Bleischürze. Dies bedeutet einen zusätzlichen erhöhten Strahlenschutz.

Beispiel 6

5

Bleifreie leichte Strahlenschürze für die Computer-Tomografie.

Es wurde eine Strahlenschutzschürze aus 40 Gew.-% Bi, 10 Gew.-% W, 34 Gew.-% Gd und 16 Gew.-% Matrixmaterial hergestellt.

Es ergab sich ein überraschend niedriges Flächengewicht von 0,5 mm Nenn-Bleigleichwert von nur 4,6 kg/m².

15

Beispiel 7

Bleifreie leichte Schürze für nuklearmedizinische Anwendungen.

20

Es wurde eine nuklearmedizinische Schürze hergestellt aus 50 Gew.-% Bi, 25 Gew.-% Gd, 9 Gew.-% Er und 16 Gew.-% Matrixmaterial.

Das Flächengewicht betrug für 0,5 Nenn-Gesamtbleigleichwert 4,8 kg/m².

Beispiel 8

Die Fig. 3 zeigt die berechneten relativen Flächengewichte der erfindungsgemäßen Schutzkleidung mit Nenn-Bleigleichwerten von 0,5 mm gemäß den Beispielen 3, 4 und 6 im Vergleich zu einer Bleischürze mit 0,5 mm Bleigleichwert. Aus der Darstellung ist ersichtlich, dass die Schutzschürzen für Dentalanwendung, allgemeines Röntgen und Computer-Tomografie (CT) jeweils in den vorgesehenen Energiebereichen geringstes Flächengewicht aufweisen.

Arbeitet der Anwender bei Röhrenspannungen von 80-100 kV ist zudem der Bleigleichwert um ca. 20% über dem Nennwert von 0,5 mm Pb einer entsprechenden Bleischürze. Dies bedeutet einen zusätzlichen erhöhten Strahlenschutz.

5

Beispiel 9

10 Bleifreie leichte Schürze im Energiebereich von 60 bis 120 kV mit Zweischichtaufbau.

Der Matrixanteil beträgt 15 Gew.-%.

15 Folgende Zusammensetzung der Schutzstoffmaterialschichten wurde gewählt:

Schicht	Element/Verbindung	Materialgewicht (kg/m ²)
Fluoreszenzschicht (außen)	Sn	1,20
	Gd (oxid)	0,72
	Cer (oxid)	0,48
Sperrschicht (innen)	Bi	1,44
	W	0,48
	Gd (oxid)	0,48

Es ergab sich ein niedriges Flächengewicht von nur 4,8 kg/m² für einen Bleigleichwert von 0,5 mm.

20

Beispiel 10

Bleifreie leichte Schürze im Energiebereich von 60 bis 120 kV mit Zweischichtaufbau.

25

Der Matrixanteil beträgt 15 Gew.-%.

Folgende Zusammensetzung:

Schicht	Element/Verbindung	Materialgewicht (kg/m ²)
Fluoreszenzschicht (außen)	Sn	1,20
	Gd (oxid)	0,48
	Cer (oxid)	0,72
Sperrschicht (innen)	Bi	1,44
	Gd (oxid)	0,96

- 5 Es ergab sich ein niedriges Flächengewicht von nur 4,8 kg/m² für einen Bleigleichwert von 0,5 mm.

Ansprüche

1. Blei-Ersatzmaterial für Strahlenschutz Zwecke im
5 Energiebereich einer Röntgenröhre mit einer Spannung von
60-140 kV, wobei das Blei-Ersatzmaterial für Nenn-
Gesamtbleigleichwerte von 0,25-2,0 mm
12-22 Gew.-% Matrixmaterial,
0-75 Gew.-% Sn oder Sn-Verbindungen,
10 0-73 Gew.-% W oder W-Verbindungen,
0-80 Gew.-% Bi oder Bi-Verbindungen umfasst und
wobei höchstens einer der Bestandteile 0 Gew.-% beträgt.
2. Blei-Ersatzmaterial nach Anspruch 1,
15 dadurch gekennzeichnet,
dass das Blei-Ersatzmaterial
12-22 Gew.-% Matrixmaterial,
0-39 Gew.-% Sn oder Sn-Verbindungen,
0-60 Gew.-% W oder W-Verbindungen und
20 0-60 Gew.-% Bi oder Bi-Verbindungen umfasst und
wobei höchstens einer der Bestandteile 0 Gew.-% beträgt.
3. Blei Ersatzmaterial nach Anspruch 2,
dadurch gekennzeichnet,
25 dass das Blei-Ersatzmaterial
12-22 Gew.-% Matrixmaterial
0-39 Gew.-% Sn oder Sn-Verbindungen,
16-60 Gew.-% W oder W-Verbindungen und
16-60 Gew.-% Bi oder Bi-Verbindungen umfasst.
30
4. Blei-Ersatzmaterial nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet,
dass das Blei-Ersatzmaterial
12-22 Gew.-% Matrixmaterial,
35 40-60 Gew.-% Sn oder Sn-Verbindungen,
7-15 Gew.-% W oder W-Verbindungen und
7-15 Gew.-% Bi oder Bi-Verbindungen umfasst.
5. Blei-Ersatzmaterial nach einem der Ansprüche 1 - 4,

dadurch gekennzeichnet,

dass das Blei-Ersatzmaterial zusätzlich bis 40 Gew.-% eines oder mehrerer der folgenden Elemente Er, Ho, Dy, Tb, Gd, Eu, Sm, La, Ce, Nd, Cs, Ba, I, Pr und/oder ihrer
5 Verbindungen und/oder CsI umfasst.

6. Blei-Ersatzmaterial nach Anspruch 5,
dadurch gekennzeichnet,

dass das Blei-Ersatzmaterial zusätzlich bis 20 Gew.-% eines oder mehrerer der folgenden Elemente Er, Ho, Dy, Tb, Gd, Eu, Sm, La, Ce, Nd, Cs, Ba, I, Pr und/oder ihrer
10 Verbindungen und/oder CsI umfasst.

7. Blei-Ersatzmaterial nach Anspruch 6,
15 dadurch gekennzeichnet,

dass das Blei-Ersatzmaterial zusätzlich bis 8 Gew.-% eines oder mehrerer der folgenden Elemente Er, Ho, Dy, Tb, Gd, Eu, Sm, La, Ce, Nd, Cs, Ba, I, Pr und/oder ihrer Verbindungen und/oder CsI umfasst.

20

8. Blei-Ersatzmaterial nach einem der Ansprüche 1 - 7,
dadurch gekennzeichnet,

dass das Blei-Ersatzmaterial zusätzlich mit 40 Gew.-% eines oder mehrerer der folgenden Elemente Ta, Hf, Lu, Yb, Tm, Th, U und/oder ihrer Verbindungen umfasst.
25

9. Blei-Ersatzmaterial nach Anspruch 8,
dadurch gekennzeichnet,

dass das Blei-Ersatzmaterial zusätzlich bis 20 Gew.-% eines oder mehrerer der folgenden Elemente Ta, Hf, Lu, Yb, Tm, Th, U und/oder ihrer Verbindungen umfasst.
30

10. Blei-Ersatzmaterial nach Anspruch 9,
dadurch gekennzeichnet,

dass das Blei-Ersatzmaterial zusätzlich bis 8 Gew.-% eines oder mehrerer der folgenden Elemente Ta, Hf, Lu, Yb, Tm, Th, U und/oder ihrer Verbindungen umfasst.
35

11. Blei-Ersatzmaterial für Strahlenschutz zwecke im Energiebereich einer Röntgenröhre mit einer Spannung von 60-90 kV nach einem der Ansprüche 5-10, dadurch gekennzeichnet,

- 5 dass das Blei-Ersatzmaterial für Nenn-Gesamtbleigleichwerte von 0,25-0,6 mm 12-22 Gew.-% Matrixmaterial, 49-65 Gew.-% Sn oder Sn-Verbindungen, 0-20 Gew.-% W oder W-Verbindungen, 10 0-20 Gew.-% Bi oder Bi-Verbindungen und 2-35 Gew.-% eines oder mehrerer der Elemente Gd, Eu, Sm, La, Ce, Nd, Cs, Ba, I, Pr und/oder ihrer Verbindungen und/oder CsI umfasst.

- 15 12. Blei-Ersatzmaterial nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass das Blei-Ersatzmaterial 2-25 Gew.-% I, Cs, Ba, La, Ce, Pr und/oder Nd und/oder ihre Verbindungen und/oder CsI umfasst.

20

13. Blei-Ersatzmaterial für Strahlenschutz zwecke im Energiebereich einer Röntgenröhre mit einer Spannung von 100-140 kV nach einem der Ansprüche 5 - 10, dadurch gekennzeichnet,

- 25 dass das Blei-Ersatzmaterial für Nenn-Gesamtbleigleichwerte von 0,25-0,6 mm 12-22 Gew.-% Matrixmaterial, 40-73 Gew.-% Bi und/oder W oder ihr Verbindungen und 5-38 Gew.-% eines oder mehrere der folgenden Elemente Gd, 30 Eu, Er, Hf und/oder ihrer Verbindungen umfasst.

14. Blei-Ersatzmaterial nach einem der Ansprüche 1 - 13, dadurch gekennzeichnet, dass es einen Aufbau aus Schutzschichten unterschiedlicher 35 Zusammensetzung umfasst.

15. Blei-Ersatzmaterial nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet,

dass es einen Aufbau aus mindestens zwei getrennten oder miteinander verbundenen Schutzschichten unterschiedlicher Zusammensetzung umfasst, wobei die vom Körper entferntere(n) Schutzschicht(en) überwiegend die Elemente niedrigerer Ordnungszahl oder deren Verbindungen und die körpernahe(n) Schutzschicht(en) überwiegend die Elemente höherer Ordnungszahl oder deren Verbindungen umfassen.

16. Blei-Ersatzmaterial nach Anspruch 14 oder 15,
dadurch gekennzeichnet,

dass es einen Aufbau aus mindestens zwei getrennten oder miteinander verbundenen Schutzschichten unterschiedlicher Zusammensetzung umfasst, wobei mindestens bei einer Schicht mindestens 50% des Gesamtgewichts nur aus einem Element aus der Gruppe Sn, W oder Bi oder deren Verbindungen besteht.

17. Blei-Ersatzmaterial nach Anspruch 14 oder 15,
dadurch gekennzeichnet,

dass es einen Aufbau aus mindestens zwei getrennten oder miteinander verbundenen Schutzschichten unterschiedlicher Zusammensetzung umfasst, wobei mindestens bei einer Schicht mindestens 50% des Gesamtgewichts nur aus mindestens 40 Gew.-% Sn oder dessen Verbindungen und mindestens 10 Gew.-% I, Cs, Ba, La, Ce, Pr und/oder Nd und/oder ihre Verbindungen und/oder CsI besteht.

18. Blei-Ersatzmaterial nach Anspruch 14,
dadurch gekennzeichnet,

dass es einen Aufbau aus mindestens zwei getrennten oder miteinander verbundenen Schutzschichten unterschiedlicher Zusammensetzung umfasst, wobei die vom Körper entferntere(n) Schutzschicht(en) überwiegend die Elemente oder deren Verbindungen mit höherer Röntgen-Fluoreszenzausbeute und die körpernahe(n) Schutzschicht(en) die Elemente oder deren Verbindungen mit geringerer Röntgen-Fluoreszenzausbeute umfassen.

19. Blei-Ersatzmaterial nach einem der Ansprüche 14 bis 18,

dadurch gekennzeichnet,

5 dass es einen Aufbau aus mindestens drei getrennten oder miteinander verbundenen Schutzschichten unterschiedlicher Zusammensetzung umfasst, wobei die vom Körper entferntere(n) Schutzschicht(en) und die körpernahe(n) Schutzschicht(en) überwiegend die Elemente höherer Ordnungszahl oder deren Verbindungen umfassen und in der
10 Mitte mindestens eine Schutzschicht mit überwiegend Elementen niedriger Ordnungszahl angeordnet ist.

20. Blei-Ersatzmaterial nach einem der Ansprüche 14 - 20, dadurch gekennzeichnet,

15 dass eine schwach radioaktive Schicht zwischen zwei getrennten oder mit der radioaktiven Schicht verbundenen nichtradioaktiven Schutzschichten eingebettet ist.

21. Blei-Ersatzmaterial nach einem der Ansprüche 1 - 20,

20 dadurch gekennzeichnet,

dass die Metalle oder Metallverbindungen gekörnt sind und deren Korngrößen einer 50er Perzentile nach folgender Formel

25
$$D_{50} = \frac{d \cdot p}{10} \text{ mm}$$

aufweisen, worin

D_{50} die 50er-Perzentile der Korngrößenverteilung,

d die Schichtdicke in mm und

30 p den Gewichtsanteil der jeweiligen Materialkomponente am Gesamtgewicht bedeuten,
und die 90er Perzentile der Korngrößenverteilung $D_{90} \leq 2 \cdot D_{50}$ ist.

35 22. Strahlenschutzschürze aus Blei-Ersatzmaterial nach einem der Ansprüche 1 - 21.

Fig. 1

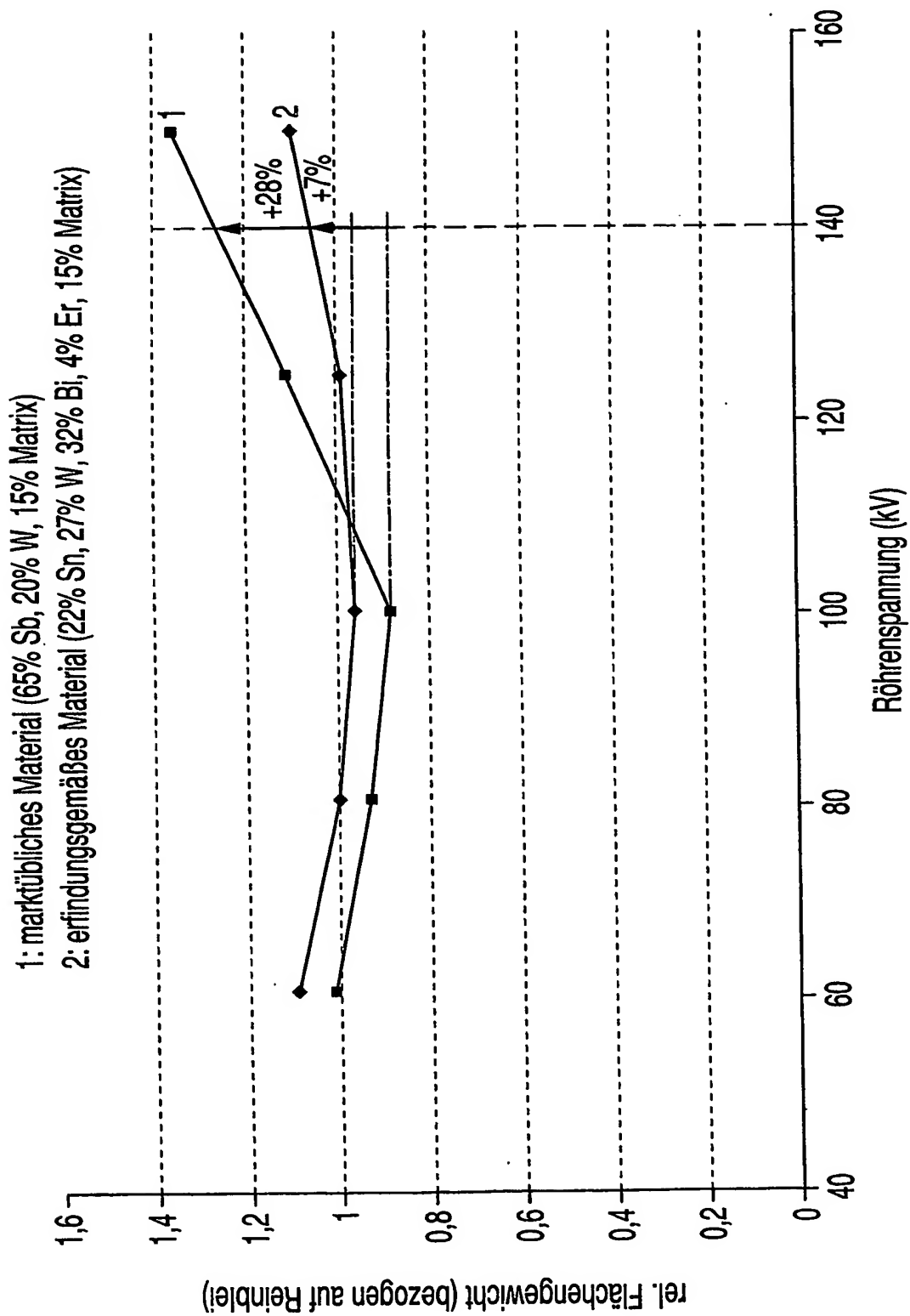


Fig. 2

1: marktübliches Material (70% Sn, 10% Ba, 20% Matrix)

2: erfindungsgemäßes Material (20% Sn, 36% W, 29% Bi, 15% Matrix)

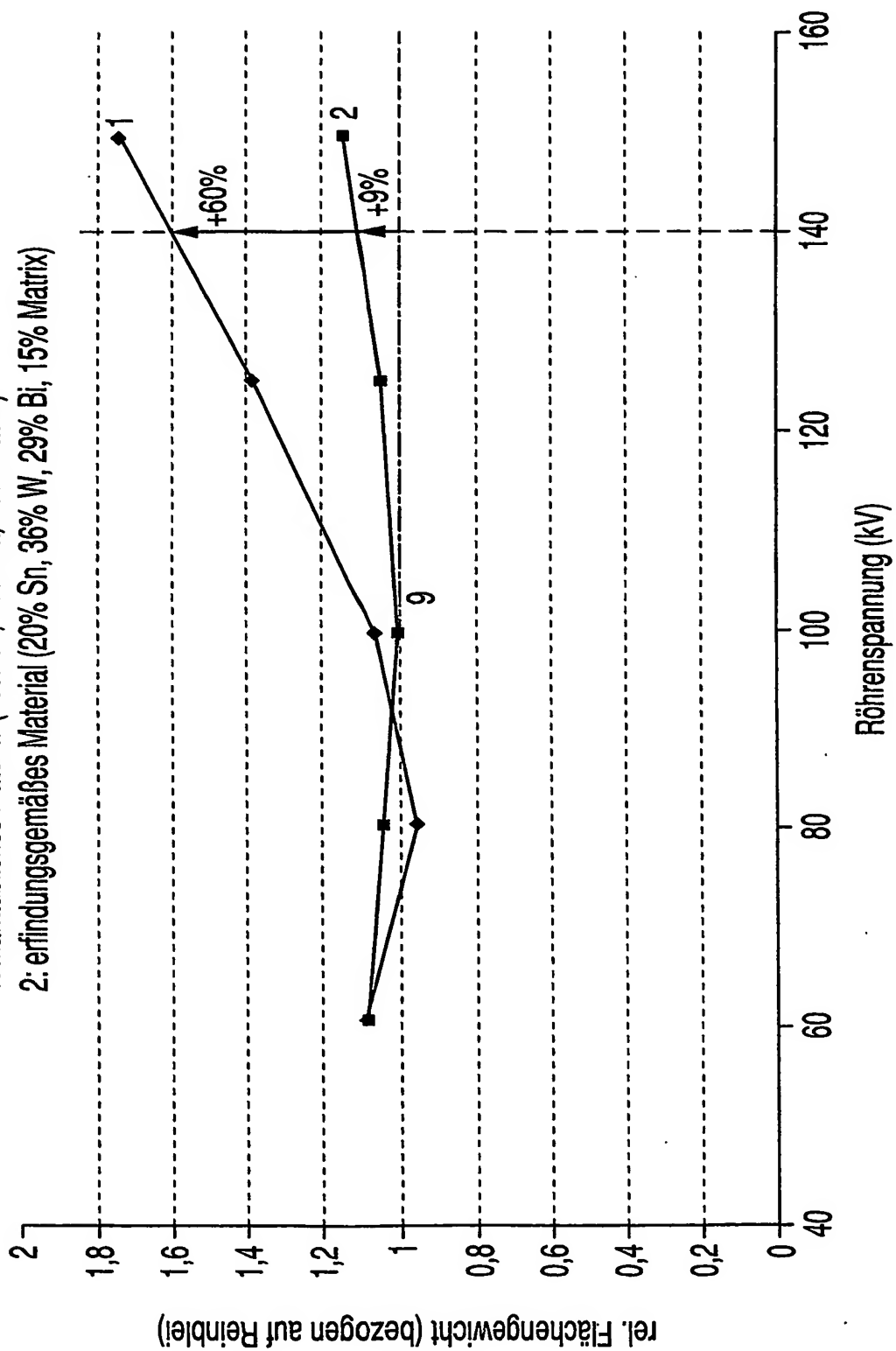
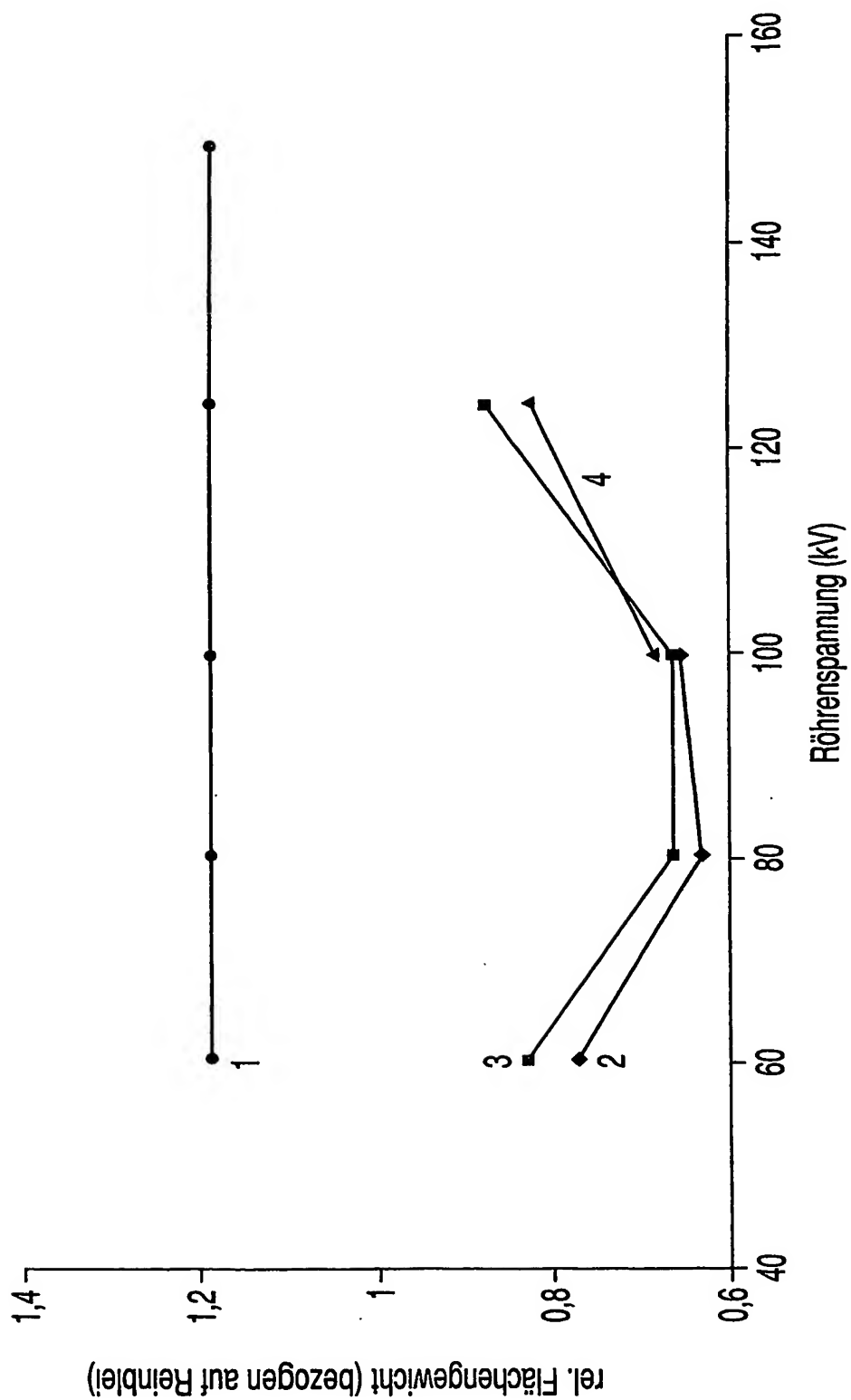


Fig. 3

1 Bleischürze 2 Dentalschürze 3 Allg. Röntgenschürze 4 CT-Schürze



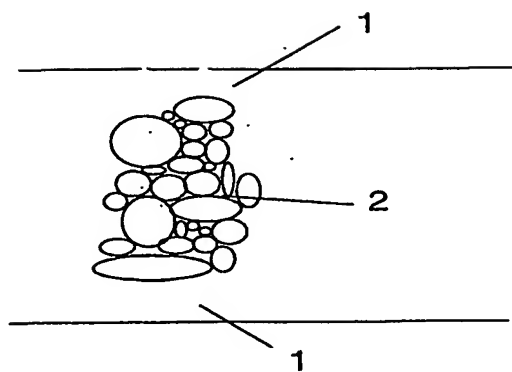


Fig. 4

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/EP2004/009860

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC 7 A61B6/10 G21F3/03 G21F1/12

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 A61B G21F

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the International search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	FR 2 741 472 A (STMI SOC TECH MILIEU IONISANT) 23 May 1997 (1997-05-23) page 9, lines 3-12; claims; table 1	1, 2, 14, 22
X	US 5 360 666 A (EICHMILLER FREDERICK) 1 November 1994 (1994-11-01) column 3, lines 20-35 column 4, lines 40-47; claim 1	1, 2, 14, 22
X, P	WO 2004/017332 A (EDER HEINRICH ; MAVIG GMBH (DE)) 26 February 2004 (2004-02-26) cited in the application claims; examples	1-22

☐ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents :

- *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- *E* earlier document but published on or after the International filing date
- *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- *P* document published prior to the International filing date but later than the priority date claimed

- *T* later document published after the International filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- *X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- *Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- * & * document member of the same patent family

Date of the actual completion of the International search

11 November 2004

Date of mailing of the International search report

19/11/2004

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Frison, C

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/EP2004/009860

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
FR 2741472	A	23-05-1997	FR 2741472 A1	23-05-1997
US 5360666	A	01-11-1994	US 5190990 A	02-03-1993
WO 2004017332	A	26-02-2004	DE 10234159 C1	06-11-2003
			WO 2004017332 A1	26-02-2004
			EP 1435100 A1	07-07-2004

INTERNATIONALE RESEARCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2004/009860

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES

IPK 7 A61B6/10 G21F3/03 G21F1/12

Nach der internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RESEARCHIERTE GEBIETE

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

IPK 7 A61B G21F

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	FR 2 741 472 A (STMI SOC TECH MILIEU IONISANT) 23. Mai 1997 (1997-05-23) Seite 9, Zeilen 3-12; Ansprüche; Tabelle 1	1, 2, 14, 22
X	US 5 360 666 A (EICHMILLER FREDERICK) 1. November 1994 (1994-11-01) Spalte 3, Zeilen 20-35 Spalte 4, Zeilen 40-47; Anspruch 1	1, 2, 14, 22
X,P	WO 2004/017332 A (EDER HEINRICH ; MAVIG GMBH (DE)) 26. Februar 2004 (2004-02-26) in der Anmeldung erwähnt Ansprüche; Beispiele	1-22



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

A Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

E Älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

L Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

O Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

P Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

T Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

X Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

Y Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

G Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

11. November 2004

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

19/11/2004

Name und Postanschrift der internationalen Recherchenbehörde
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Beauftragter

Frison, C

INTERNATIONALE RESEARCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichung, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2004/009860

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
FR 2741472	A	23-05-1997	FR	2741472 A1	23-05-1997
US 5360666	A	01-11-1994	US	5190990 A	02-03-1993
WO 2004017332	A	26-02-2004	DE	10234159 C1	06-11-2003
			WO	2004017332 A1	26-02-2004
			EP	1435100 A1	07-07-2004